

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.7.52.008

УДК 550.834

© А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Шевкунова, У.Ю. Ворона,
Н.А. Серёжников, 2018

А.Ф. ЕМАНОВ

д-р техн. наук,
директор
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
e-mail: emanov@gs.nsc.ru



А.А. ЕМАНОВ

канд. геол.-минерал. наук,
зам. директора по науке
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск;
старший научный сотрудник
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск
e-mail: alex@gs.nsc.ru



А.В. ФАТЕЕВ

старший научный сотрудник
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск;
ведущий инженер
ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск
e-mail: fateev@gs.sbras.ru



Е.В. ШЕВКУНОВА

научный сотрудник
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
e-mail: elenash@gs.sbras.ru



У.Ю. ВОРОНА

научный сотрудник
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
e-mail: u.y.vorona@gmail.com



Н.А. СЕРЁЖНИКОВ

младший научный сотрудник
АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск
e-mail: bestyah21@mail.ru



СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ОКОЛО ШАХТ И РАЗРЕЗОВ КУЗБАССА

По данным сети сейсмологических станций изучен сейсмический эффект короткозамедленных взрывов на угольных разрезах Кузбасса и наведённая сейсмичность в этом же районе. Разрезы с наиболее сильными по магнитуде промышленными взрывами не являются разрезами с наиболее сильной наведённой сейсмичностью. Природа возникновения наведённой сейсмичности может быть связана с техногенным изменением рельефа местности. Установлено, что по соотношениям магнитуды и параметров короткозамедленного взрыва имеется возможность контролировать правильность технологии взрывания. Экспериментами с временными сетями станций получены детальные данные о природе и особенностях развития наведённой сейсмичности около шахт и разрезов Кузбасса.

Ключевые слова: НАВЕДЁННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ, ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЫ, СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, КУЗБАСС, КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОЕ ВЗРЫВАНИЕ.

Введение

Кузбасс является регионом, где промышленные взрывы, техногенная сейсмичность и природные землетрясения присутствуют на одной и той же территории. Вопрос о сейсмическом эффекте промышленных взрывов и о влиянии этого воздействия на среду Кузбасса является обсуждаемым [1–3]. Оказывают ли сейсмические волны от промышленных взрывов воздействие на среду достаточное для её сейсмической активизации? Однозначного ответа на этот вопрос нет. Количество взрывчатки имеет косвенную связь не только с возбуждением сейсмических колебаний, но и с объёмом добычи угля на разрезах. Последний фактор связан с изменением рельефа местности. Собственно, разрезы можно рассматривать как глубокие впадины, а отвалы — как искусственные горы. Изменение нагрузки на земную кору может быть причиной возникновения техногенных землетрясений около разрезов.

Влияние короткозамедленного взрывания на сейсмический эффект промышленных взрывов

В Кузбассе сеть сейсмологических станций значительно более плотная, чем в сосед-

них регионах [4]. Сеть станций в данном районе регистрирует природные землетрясения, наведённую сейсмичность и промышленные взрывы. Сейсмический эффект промышленных взрывов в значительной степени снижен за счёт короткозамедленного взрывания (КЗВ) [5], повсеместно используемого при добыче угля в Кузбассе. Согласно имеющимся представлениям о короткозамедленном взрывании идеализированную модель излучаемого сейсмического импульса можно представить в виде [6]

$$f_3(t) = f_0(t) * \sum_{k=1}^{n-1} \delta(t - kT), \quad (1)$$

где $f_0(t)$ — форма сигнала, излучаемого мгновенным взрывом, $f_3(t)$ — форма сигнала, излучаемая короткозамедленным взрывом, операция свёртки обозначена звёздочкой, T — интервал замедления.

Так как при короткозамедленном взрывании применяют схемы инициирования не только с равными по величине зарядами, но и с различными, реальный импульс будет отличаться от имеющейся модели.

Дополним уже сделанное предположение двумя другими: считаем источник точечным; полагаем, что каждый взрыв ступени возбуждает сигнал одинаковой формы. Принятые допущения позволяют построить модель им-

пульса, излучаемого короткозамедленным взрывом:

$$f_3(t) = \sum_{k=0}^{n-1} a_k f_0(t-t_k) = f_0(t) * \sum_{k=1}^{n-1} a_k \delta(t-t_k), \quad (2)$$

где a_k — коэффициенты, характеризующие интенсивность взрывов ступеней, а t_k — времена инициирования ступеней. Если принять, что взрывы ступеней выполняются через равные интервалы с некоторой ошибкой, то

$$f_3(t) = f_0(t) * \sum_{k=1}^{n-1} a_k \delta(t-kT-\tau_k). \quad (3)$$

Приняв, что все $a_k = 1$, оценим, какое влияние на интересующий нас импульс оказывают неточности срабатывания замедляющих устройств. Для этого сравним спектральные характеристики короткозамедленного взрыва при учёте неточностей срабатывания замедлителей и без учёта:

$$B_\tau(\omega) = \sum_{k=0}^{n-1} e^{-j\omega kT} \cdot e^{-j\omega \tau_k}, \quad B(\omega) = \sum_{k=0}^{n-1} e^{-j\omega kT}. \quad (4)$$

Так как $B_\tau(\omega)$ является случайной функцией, осуществим осреднение по множеству реализаций. Математическое ожидание спектральной характеристики короткозамедленного взрыва равно [6]

$$\begin{aligned} M[B_\tau(\omega)] &= \sum_{k=0}^{n-1} e^{-j\omega kT} M(e^{-j\omega \tau_k}) = \chi(\omega) \cdot \sum_{k=0}^{n-1} e^{-j\omega kT} = \\ &= \chi(\omega) B(\omega), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\chi(\omega) = M(e^{-j\omega \tau_k})$ — характеристическая функция распределения случайной величины τ_k . Действие ошибок в срабатывании замедлителей на спектральную характеристику короткозамедленного взрыва в среднем подобно действию линейного фильтра, частотной характеристикой которого является характеристическая функция распределения ошибки срабатывания замедляющего устройства. Если принять, что случайная величина τ_k распределена нормально с дисперсией σ_τ^2 ,

то $\chi(\omega) = e^{-\frac{\sigma_\tau^2 \omega^2}{2}}$. Неточность срабатывания большинства промышленных замедлителей составляет ± 7 мс. При такой неточности $\chi(\omega)$ в диапазоне частот 1–15 Гц близка к единице.

Отклонения спектральной характеристики от среднего при каждом конкретном

эксперименте характеризуются дисперсией $DB_\tau(\omega) = n(1 - |\chi(\omega)|^2)$ [6]. Значения спектральной характеристики короткозамедленного взрыва определяются выражением $\tilde{B}(\omega) = \chi(\omega)B(\omega) \pm 3\sqrt{n(1 - |\chi(\omega)|^2)}$. Дисперсия характеристики растёт с частотой. Фактически короткозамедленное взрывание рассчитывается так, чтобы спектр возбуждаемых колебаний оказывался в полосе гашения, а ошибки в замедлении сказываются только на высокочастотных составляющих возбуждаемых взрывом колебаний.

В работе [6] показано, что осредненная по множеству реализаций спектральная характеристика КЗВ равна $MB_a(\omega) = \bar{a}B(\omega)$, где \bar{a} — средняя амплитуда возбуждаемых сигналов, а дисперсия $DB_a(\omega) = n\sigma_a^2$. Пределы изменения значений спектральной характеристики за счет разброса амплитуд даются выражением $\tilde{B}_a(\omega) = B(\omega) \pm 3(\sigma_a / \bar{a})\sqrt{n}$.

Полученные формулы проверялись экспериментальными работами [7], где было установлено, что расчётом на основе упрощенных представлений о короткозамедленном взрывании можно описать только частично изменение возбуждаемых в среде колебаний. Была выявлена важная роль в изменении направленности взрыва. Последовательность ступеней вызывает воздействие в виде наклонной силы с направленным действием, в отличие от вертикальной силы при одиночном взрыве. При короткозамедленном взрывании в значительной степени усиливается возбуждение поперечных волн, что меняет динамику записи в целом [7, 8]. Расчёты и эксперимент подтверждают, что сейсмический эффект серии взрывов при короткозамедленном взрывании равен сейсмическому эффекту одного взрыва в серии и отличается длительностью воздействия.

Теоретически при неизменном весе заряда ступени мы должны наблюдать одну и ту же магнитуду, независимо от общего заряда взрыва. На рис. 1 представлены зависимости магнитуды от величины общего заряда для взрывов на разрезе «Бачатский».

ML

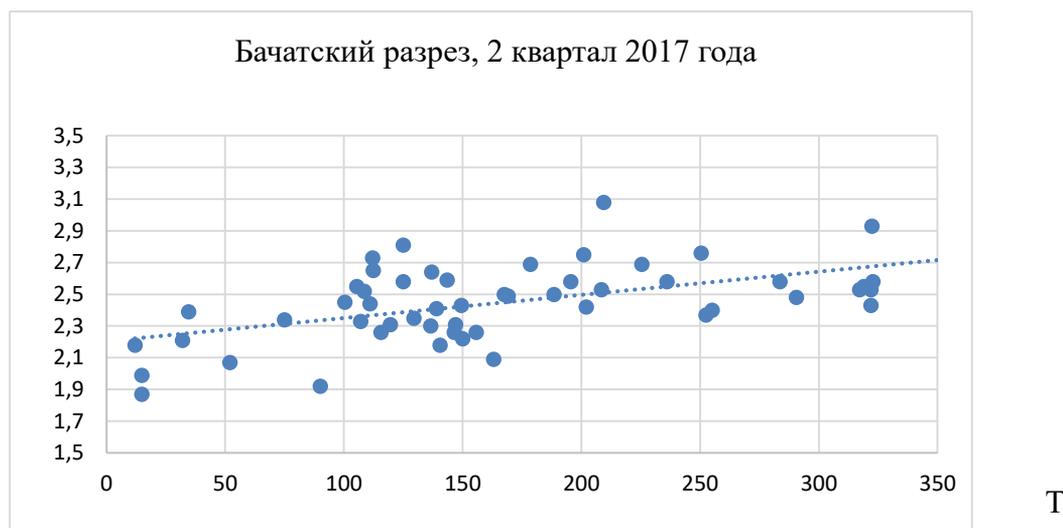


Рис. 1. Зависимость магнитуды ML от общего заряда короткозамедленного взрыва (тонны)

Осреднённые зависимости говорят о росте магнитуды с ростом величины общего заряда взрыва. В расчёте на сто тонн увеличения заряда мы имеем увеличение магнитуды примерно чуть более одной десятой. Совершенно ясно, что резервы по снижению сейсмического эффекта за счёт короткозамедленного взрывания ещё имеются.

Другой особенностью полученной зависимости является существование разброса точек от осредняющей прямой. Во-первых, это означает, что на одном и том же разрезе взрывы с одной и той же массой заряда и равными зарядами в серии могут обладать существенно различным сейсмическим эффектом, во-вторых, мы видим, что взрыв с массой заряда 210 тонн имеет магнитуду на 0,2 единицы больше, чем взрыв с зарядом 320 тонн. Полученные результаты могут быть объяснены нарушениями в технологии взрывания. Возможно, в серии взрывов существуют ступени с большей массой взрывчатых веществ, и ими определяется сейсмический эффект. Другой возможной причиной могут быть ошибки в схемах коммутации короткозамедленных взрывов. Дело в том, что в рядах осуществляется замедление от скважины к скважине, и одновременно между рядами начало инициирования также замедленно, а в итоге возможна ситуация, когда скважины в разных рядах совпадают по времени инициирования. В этом случае происходит группирование взрывов скважин в разных рядах с усилением сейсмического эффекта.

Наведённая сейсмичность на территории Кузбасса

На территории Кузбасса много разрезов, где ведутся взрывные работы. Совершенно ясно, что по количеству взрывчатых веществ [1] определяется лишь первое приближение к оценке воздействия на недра колебаний, возбуждаемых промышленными взрывами. В данном случае мы воспользуемся результатами регистрации промышленных взрывов сетью сейсмологических станций [4]. Нас интересуют взрывы с локальной магнитудой 2,5 и более.

Наибольшее количество событий (рис. 2) с магнитудами более 2,5 фиксируется около г. Междуреченска, где располагаются разрезы «Красногорский», «Сибиргинский», «Междуреченский» и другие. На втором месте по количеству таких событий разрезы около г. Абакан. Чуть меньше крупных промышленных взрывов в районе «Талдинского» и близких к нему разрезах. Ещё меньшее количество крупных взрывов в районе разрезов «Бачатский», «Киселёвский» и «Краснобродский». Немного крупных взрывов на разрезах севернее г. Кемерово, в районе Ургунского месторождения угля и в районе г. Ленинска-Кузнецкого.

На рис. 3 даны сведения о землетрясениях в 2017 году для районов добычи угля. Наибольшее количество техногенных землетрясений в этом году произошло в районе разреза

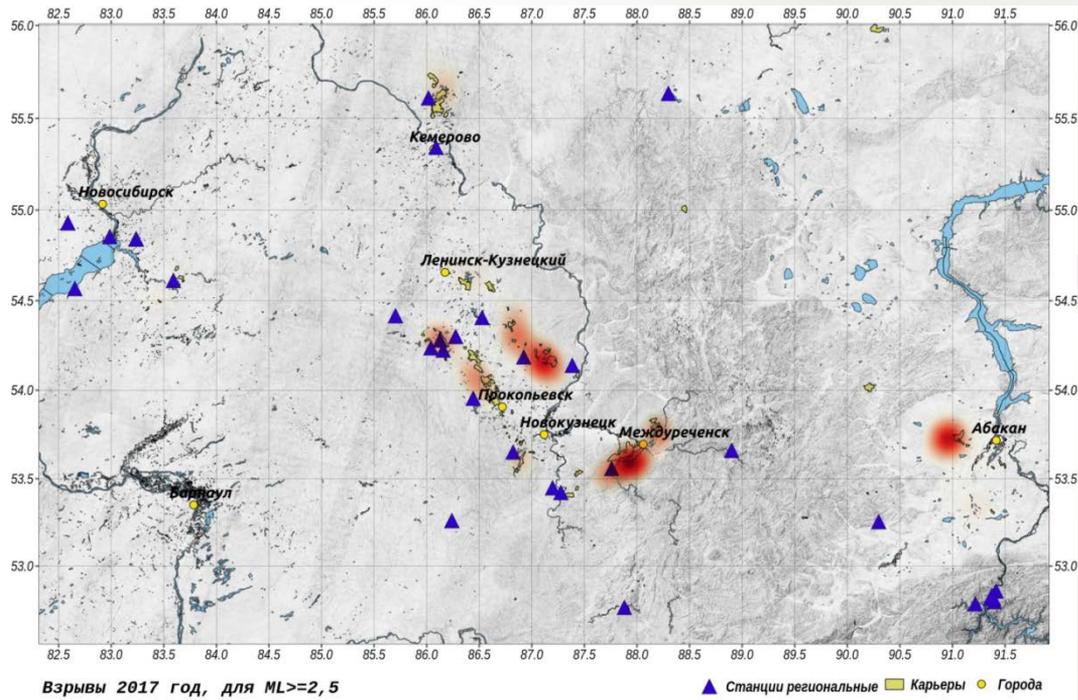


Рис. 2. Карта плотности промышленных взрывов с $ML \geq 2.5$ в 2017 году

«Калтанский». Обращает внимание, что промышленных взрывов с большим сейсмическим эффектом в районе данного разреза не проводилось. Также в районе г. Ленинска-Кузнецкого в 2017 году зафиксировано большое количество техногенных землетрясений, а промышленных взрывов с большим сейсмическим эффектом там не было. Восточнее г. Новокузнецка присутствует техногенная сейсмическая активность, а промышленных

взрывов с сильным сейсмическим эффектом нет. Около г. Междуреченска наведённая сейсмичность смещена к востоку в район шахты «Распадская», а максимум числа промышленных взрывов с большим сейсмическим эффектом смещён к западу от города. Совпадение техногенной сейсмической активности и промышленных взрывов с большими значениями магнитуд наблюдается в районе «Талдинского угольного разреза».

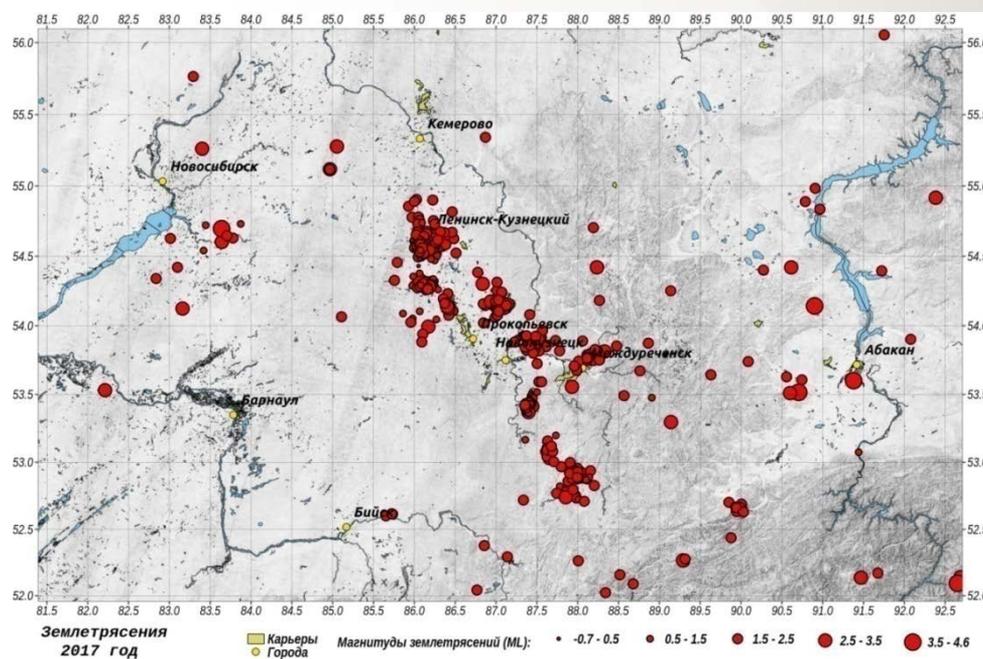


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений, 2017 год

Нет однозначной связи между сейсмическим воздействием на земную кору от промышленных взрывов и формирующейся в Кузбассе наведённой сейсмичностью. Фактором, который может быть причиной формирования наведённой сейсмичности, является техногенное изменение рельефа местности.

В Кузбассе распространена наведённая сейсмичность около шахт. Активизируются недра под горной выработкой на глубину чуть больше километра. Установлено влияние вибрации на сейсмический процесс около подземных выработок [3, 9].

Представленные данные о приуроченности наведённой сейсмичности к горным выработкам позволяют сделать выводы о техногенной природе землетрясений и в то же время не доказывают конкретной причины их возникновения.

Кроме мониторинга наведённой сейсмичности в Кузбассе по сети стационарных станций активно проводятся эксперименты с локальными сетями станций непосредственно около горных выработок, когда точность и

чувствительность существенно повышаются и есть возможность делать более обоснованные выводы о сейсмических активизациях в Кузбассе [10–13].

Чтобы понять возможности сети сейсмологических станций в Кузбассе, обратимся к рис. 4, где точками отмечены землетрясения. На графики наносились данные по площади разреза «Краснобродский», он самый южный из рассматриваемых предприятий, на площади разреза «Бачатский» и на площади шахт в районе г. Полысаево.

По Полысаево в виде скоплений землетрясений видны периоды работы временных сетей станций. Минимальные магнитуды регистрируемых землетрясений от -1, а иногда и от -2 до 2. До 2012 года в районе г. Полысаево без временных сетей сейсмических событий не регистрировалось, а с 2012 года фиксируются землетрясения с магнитудами 1 и более. В ряде случаев происходят события с магнитудой 3, что свидетельствует об усилении сейсмического процесса в этом районе в целом.

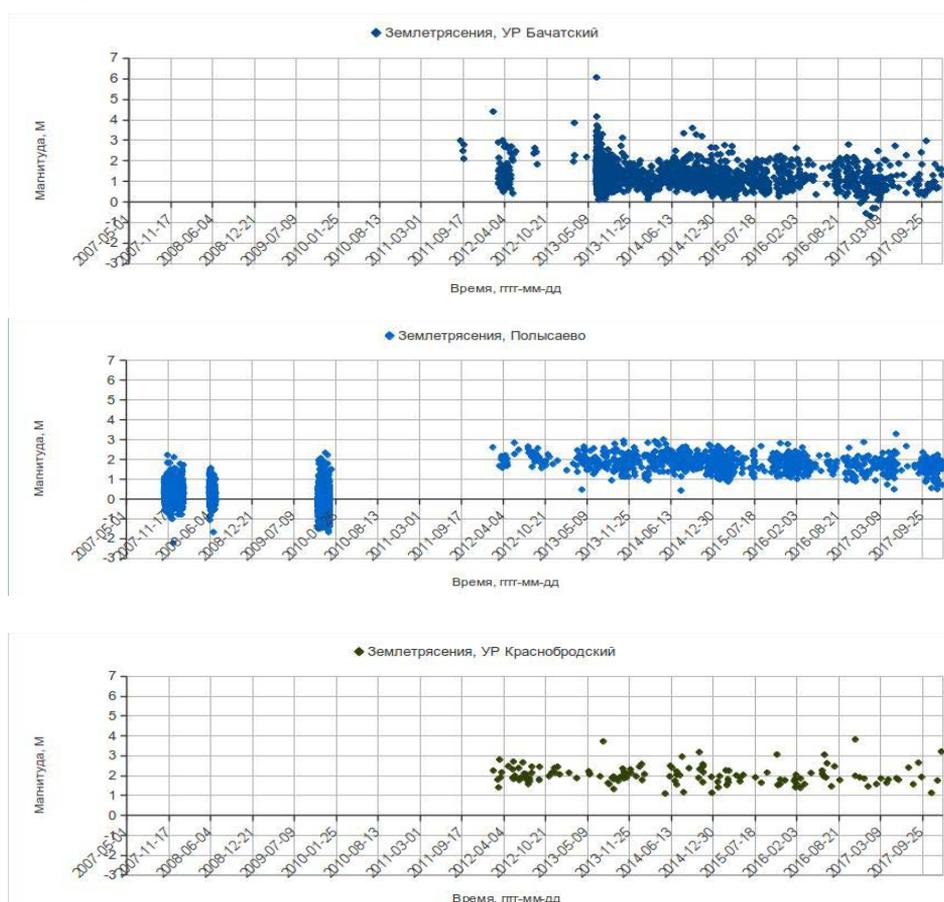


Рис. 4. Диаграммы распределения землетрясений в плоскости «время-магнитуда» для трёх горнодобывающих предприятий (01.05.2007–31.12.2017)

В районе Краснобродского разреза до 2012 года система мониторинга не контролировала сейсмический процесс, а с момента увеличения количества станций мы фиксируем землетрясения с магнитудами 2÷4 в виде стационарно развивающегося процесса.

В районе Бачатского разреза без временной сети станций события с магнитудой 2 начинают регистрироваться с 2011 года. В 2012 году скопление событий соответствует периоду работы в районе разреза сети временных станций. С момента Бачатского землетрясения в 2013 году выставлена сеть временных

станций, которая постепенно заменяется стационарными станциями, и в районе данного объекта устойчиво регистрируются техногенные землетрясения с магнитудами 0 и выше.

На рис. 5 представлены землетрясения в районе г. Полысаево. Видно, что во времени облако землетрясений смещается вместе с забоем вдоль лав. В нижней части видно скопление землетрясений, которое не смещается. Здесь выполняются подготовительные работы по запуску новой лавы. В верхнем левом углу сконцентрировано облако событий там, где в данный момент горных работ не было.

Эпицентры зарегистрированных событий по месяцам

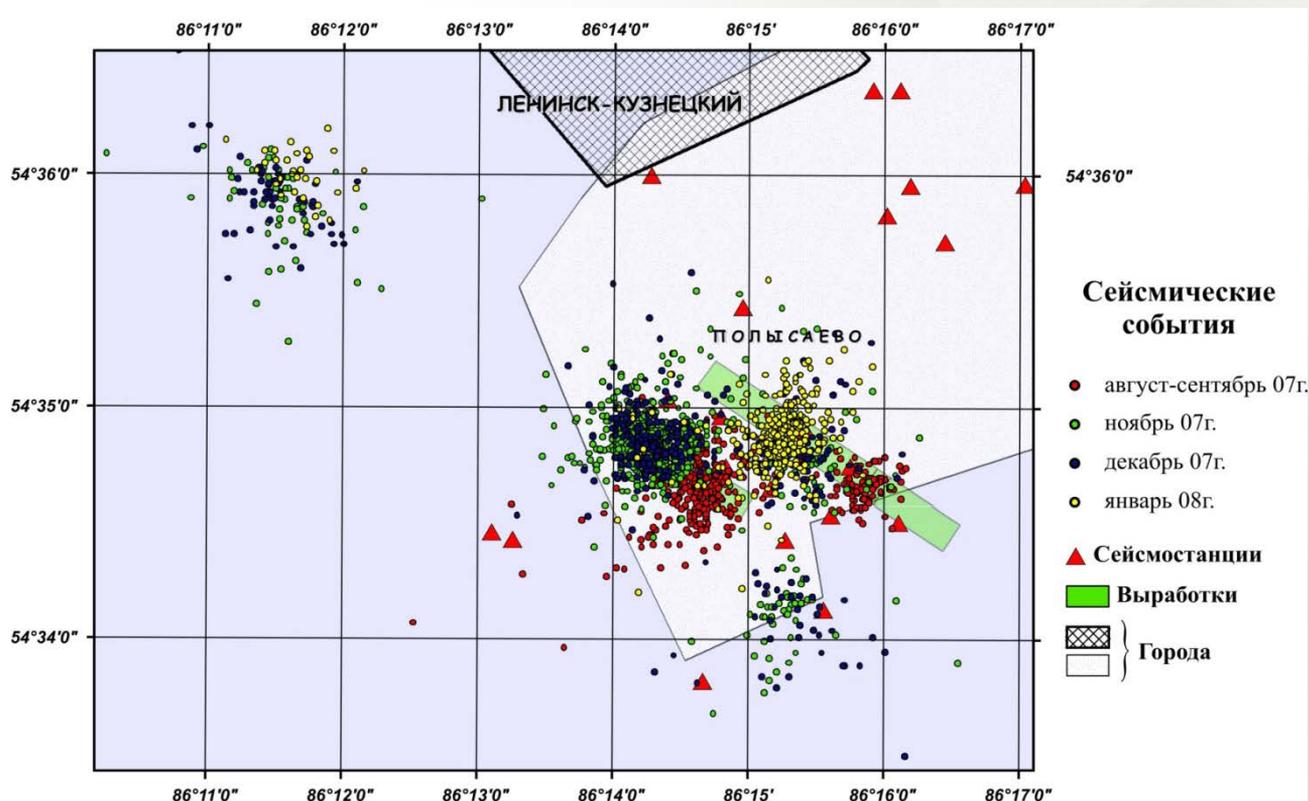


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений в районе г. Полысаево

На рис. 6 даны глубины землетрясений, полученные в данном эксперименте. Для двух действующих выработок и одной готовящейся землетрясения происходят на глубинах от подошвы выработки до глубин на километр глубже. Для северо-восточной активизации землетрясения происходят на глубинах от 2 км до 2.8 км. В проведённом эксперименте установлено существование двух типов тех-

ногенных землетрясений: 1. Сейсмические активизации, пространственно связанные с работающей лавой и смещающиеся вместе с забоем. 2. Блуждающие сейсмические активизации, снимающие напряженность в местах существования отработанных выработок. Сейсмическая активизация, подобная северо-западной, была изучена в районе г. Осинники [3], где в местах отработанных вырабо-

Распределение событий по глубинам
(для событий с ERZ<0,35)

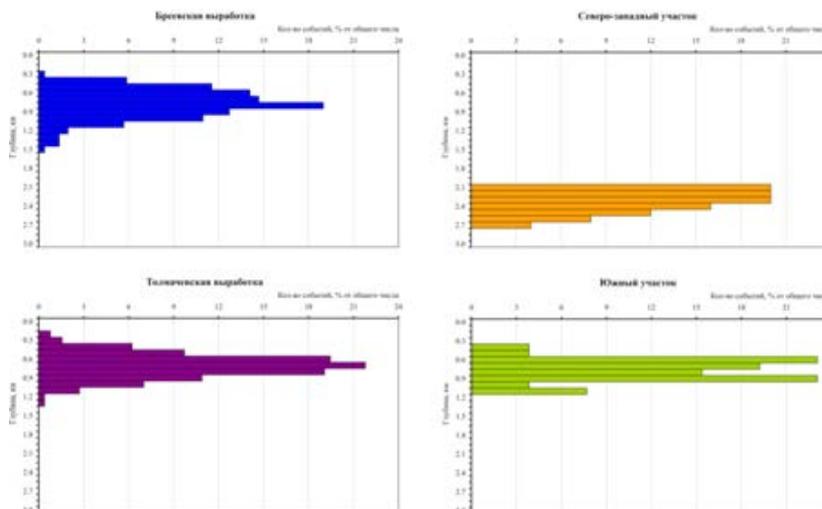


Рис. 6. Глубины землетрясений для отмеченных на рис. 5 сейсмических активизаций

ток развилась активизация на глубинах 1–4 км. Выполненный мониторинг данной территории показал, что структура наведённой сейсмичности меняется с изменением мест работы лав, а блуждающая выработка медленно смещается в пространстве и меняет свою структуру во времени [10, 14]. В работе [15] описывается существование таких активизаций в других регионах мира. Отмечается, что в местах бывших выработок нередко возника-

ет сейсмический процесс, который медленно смещается в пространстве. Для техногенных землетрясений около выработок доминирующий механизм — взброс. Сейсмические события не превышают магнитуду 3. Аналогичные результаты получены при исследовании сейсмических активизаций в районе шахты «Распадская» [16] и на шахте «Берёзовская» на севере Кузбасса [13].

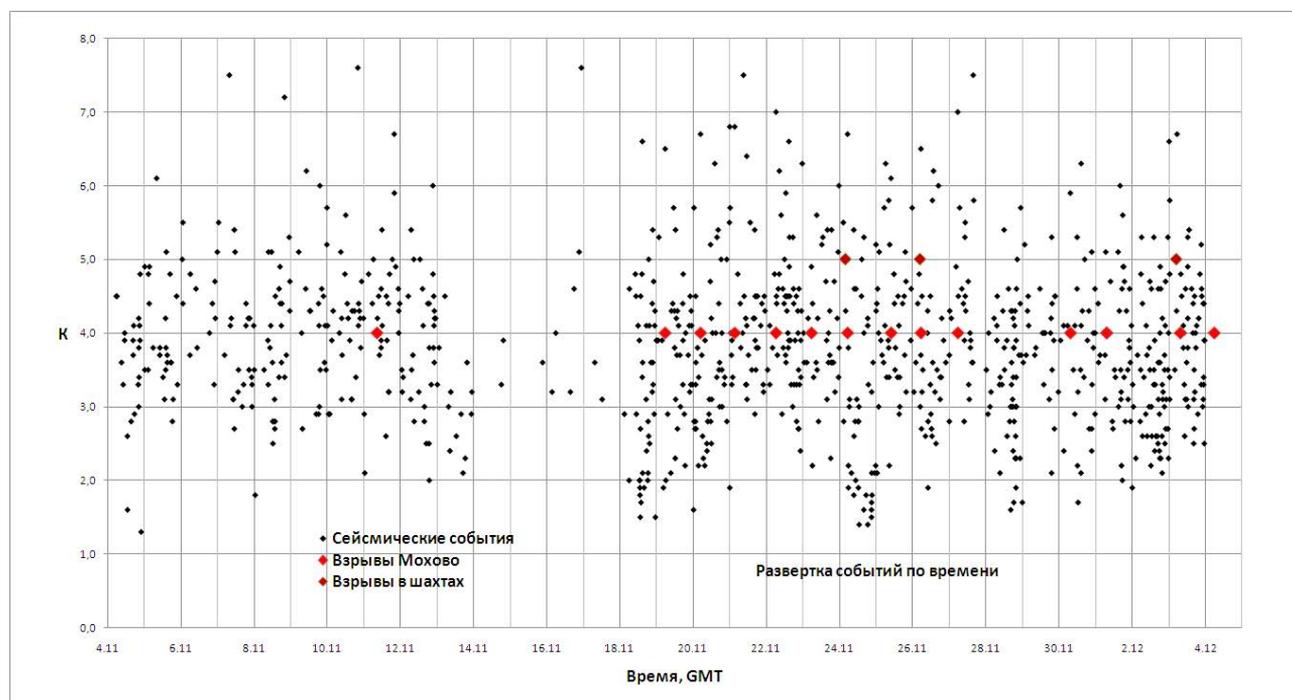


Рис. 7. Влияние остановки работы лав на наведённую сейсмичность около подземных выработок (г. Польшаево, 2008 год): К — энергетический класс события; время — число и месяц 2008 года

На рис. 7 представлена развёртка техногенной сейсмичности во времени за ноябрь-декабрь 2008 года. Этот период интересен тем, что на три дня распоряжением губернатора Кемеровской области была остановлена в этом районе добыча угля. Трёхдневный интервал характеризуется периодом затишья. Красные ромбики — это промышленные взрывы в Моховском разрезе (примерно в 6 км от активизированной шахтами области). Остановка работы комбайнов практически мгновенно изменила сейсмический режим активизированной области, и начало добычи угля так же

быстро восстановило сейсмическую активизацию недр. Напротив, сейсмические волны промышленных взрывов проходят через активизированную область и заметного влияния не оказывают.

Роль работы добывающих комбайнов в развитии наведённой сейсмичности исследовалась и иным способом [17]. События за месяц раскладывали по часам суток, и тем самым получалась интегральная оценка по сейсмичности профилактической смены в шахте, когда обслуживается оборудование и добыча не ведётся.

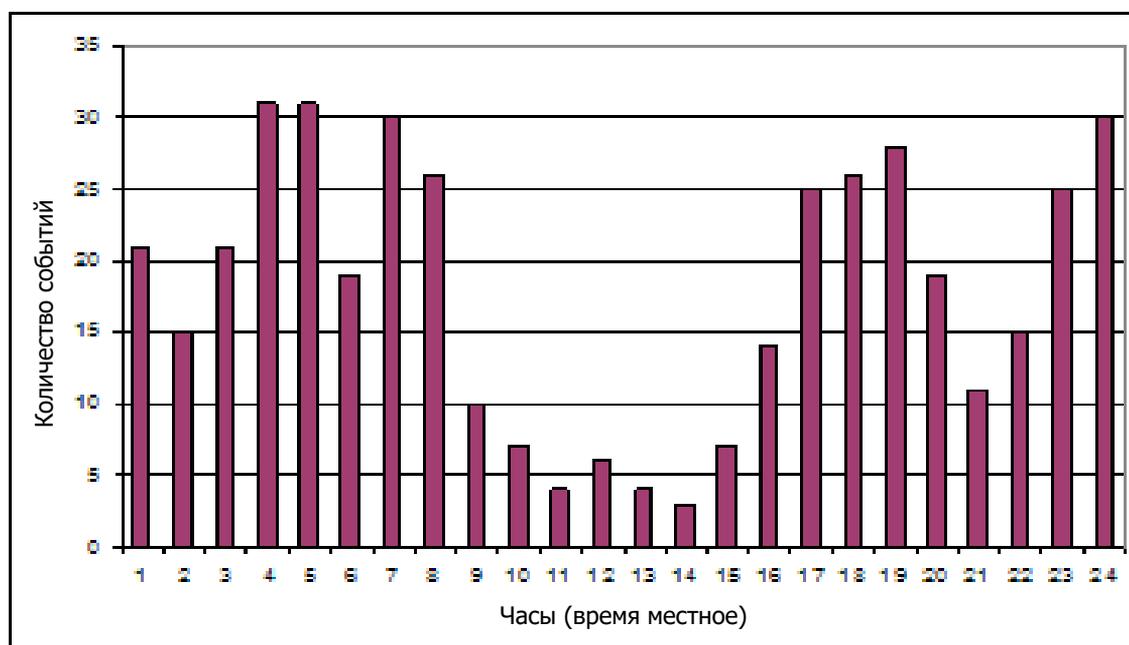


Рис. 8. Распределение числа событий по времени суток за июнь 2007 года. Сейсмическая активизация около шахт района г. Полысаево

На рис. 8 видно, что с 9 утра до 15 часов отмечается снижение числа техногенных землетрясений. Данный эффект устойчив во времени и для разных шахт Кузбасса. В работе [9] показано, что данный эффект имеет место на шахтах Воркутинского угольного бассейна.

Роль работы оборудования в шахтах является устойчивым триггером для развития наведённой сейсмичности. Совершенно понятно, что главная роль в возникновении наведённой сейсмичности может быть отведена

только изменению напряжённого состояния за счёт формирования подземных выработок. Фактов влияния промышленных взрывов на наведённую сейсмичность около шахт не установлено.

Другой тип наведённой сейсмичности в Кузбассе формируется около открытых горных выработок. Наиболее изученной на территории Кузбасса является сейсмическая активизация, сформировавшаяся около разреза «Бачатский» [11].

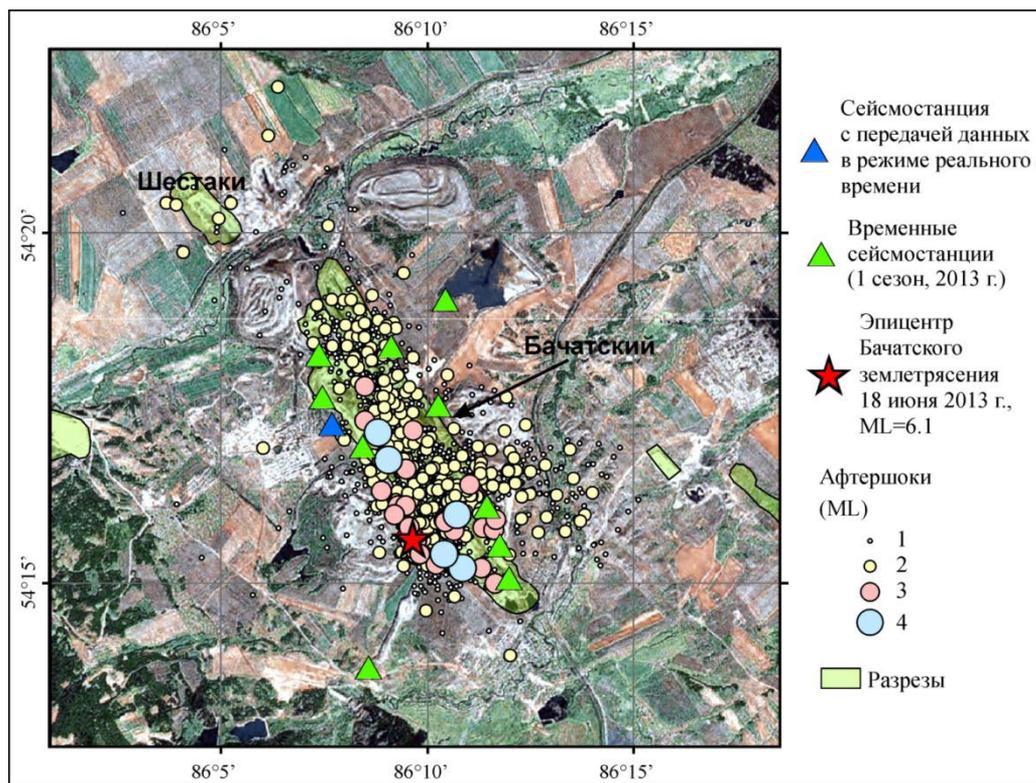


Рис. 9. Бачатское землетрясение и его афтершоки 18.06.2013 г. (ML=6.1)

На основе экспериментов в районе Бачатского землетрясения установлено следующее:

- Сейсмический режим техногенной активизации около разреза «Бачатский» непрерывен и нестационарен: выделяются периоды фонового уровня сейсмичности, пониженного по энергии сильнейших землетрясений и разреженной частотой слабых событий, и периоды активизаций с сильными и крупными землетрясениями и увеличенной частотой слабых событий. Длительность сейсмических активизаций 1–3 месяца. За пять последних лет зафиксировано четыре активизации, и три из них генерировали крупные землетрясения: 19.02.2012 с $ML = 4.3$; 04.05.2013 с $ML = 3.9$; 18.06.2013 с $ML = 6.1$. Последняя активизация завершилась серией ощутимых землетрясений с локальной магнитудой 3.0–3.5. Пульсирующий характер сейсмической активности недр разреза свидетельствует о повышенной сейсмической опасности в данной части Кемеровской области и необходимости инструментального контроля за развитием процесса.

- Бачатское землетрясение и вся наведенная сейсмичность около него пространственно увязываются с разрезом, ориентировка механизма очага этого землетрясения соответствует ориентировке длинной оси разреза, оно произошло в осадках впадины, малая глубина очага (от ложа разреза до 5 км), график повторяемости имеет наклон, отличный от природной сейсмичности. Отмеченные факты указывают на техногенную природу Бачатского землетрясения и сейсмической активизации, в пространственно-временных рамках которой оно произошло.

Эксперименты по сейсмическому мониторингу разрезов достаточно эффективно выполняются и в других регионах [18]. Выполнение мониторинговых исследований на горных предприятиях становится обязательной процедурой обеспечения безопасности горных работ.

В районе Кузбасса проводится изучение наведённой сейсмичности, формирующейся при одновременном воздействии на локальной территории подземных и открытых гор-

ных выработок. Фактически два вида наведённой сейсмичности развиваются на одной территории [12]. Показано, что: 1. Сейсмические процессы локализуются в соответствии с масштабом воздействия (активизация, вызванная открытыми горными выработками, по площади существенно превышает сейсмическую активизацию около шахты). 2. Сейсмическая энергия событий открытых горных выработок значительно превышает энергию событий около шахты. 3. Отмечено взаимодействие активизаций разных типов, когда сейсмичность около разрезов ослабевает, сейсмичность около шахты усиливается. В проведённом эксперименте были сопоставлены данные двух сетей около шахты «Алардинская». Сети для регистрации горных ударов (подземные датчики, установленные ВНИМИ) и временной сети станций для изучения наведённой сейсмичности (датчики на дневной поверхности). По результатам сравнения установлено, что сеть сейсмологического мониторинга регистрирует намного больше землетрясений на площади шахты, чем сеть горных ударов.

Сопоставление результатов привело к выводам, что в данном случае мы имеем дело с сейсмическими системами разного назначения и отличающихся возможностей.

Сеть горных ударов регистрирует высокочастотные сигналы в шумовой обстановке шахты. Регистрируются события в непосредственной близости от выработки, и обеспечивается высокая точность определения координат для этих событий. Система ориентирована на обеспечение безопасности горняков, работающих под землёй.

Сейсмологическая система регистрирует низкочастотные сейсмические сигналы, станции расположены в более тихих по шумам местах. Обеспечивается контроль за техногенными событиями в существенно большем объёме среды, но точность координат событий около выработки меньше, чем у системы регистрации горных ударов. Данная система отслеживает процессы, опасные для населения и объектов на поверхности, а также даёт информацию о перспективе возникновения

сейсмических процессов непосредственно около подземных выработок.

Рассмотренные системы регистрации сейсмических сигналов имеют разные возможности, являются системами разноуровневого контроля над опасными процессами при подземной добыче угля и не исключают, а дополняют друг друга.

Наведённая сейсмичность формируется как изменение сейсмического режима за счёт деятельности людей. В любом случае закономерности природного тектонического процесса играют значительную роль в формировании сейсмичности Кузбасса. Кузнецкая впадина — одна из впадин Алтае-Саянской горной области в ячеистой структуре данного региона (чередование систем впадин, разделённых горными массивами). Общие закономерности сейсмичности Алтае-Саянской горной области исследованы в работе [19]. Основными закономерностями сейсмического режима данного региона являются:

- В сейсмическом режиме региона следует выделить фоновую сейсмичность и сейсмические активизации, как правило, связанные с крупными землетрясениями.

- Фоновая сейсмичность, хаотичная на первый взгляд, с течением времени упорядочивается в соответствии с блочной структурой Алтае-Саянского региона, концентрируясь преимущественно в горном обрамлении впадин. Наблюдается стабильность проявления тектонических процессов в фоновой сейсмичности по времени, а также иерархия этих процессов по скорости проявления в сейсмичности. Геологические структуры с наиболее быстро протекающими тектоническими процессами проявляются в организации фоновой сейсмичности за год, основные черты которой повторяются из года в год. Разделение структур по скорости проявления в фоновой сейсмичности проливает свет на напряжённое состояние блоков земной коры.

- Сейсмические активизации можно рассматривать как нестационарный режим той или иной геологической структуры. Мощные сейсмические активизации структур Алтае-Саянской области формировались

вокруг крупнейших землетрясений, прежде всего, как афтершоковый процесс. Крупным землетрясениям сопутствуют достаточно индивидуальные по сценарию развития сейсмические активизации. Все крупные землетрясения приурочены к зонам, стабильно проявляющим себя в сейсмичности за год. На сегодня не во всех активных по землетрясениям малых энергий зонах происходили крупные события. Крупным активизациям предшествуют попытки упорядоченной активизации этих же структур, часто неоднократные, не закончившиеся крупными землетрясениями.

Кузнецкая впадина характеризовалась повышенной сейсмичностью горного обрамления, но добыча угля в крупных масштабах обеспечила изменение структуры сейсмичности. Сейсмичность внутри впадины около горных предприятий является результатом крупного техногенного воздействия на земную кору. Следует отметить, что по данным глубинных сейсмических зондирований [20, 21] в Кузнецкой котловине мощность осадочных пород более десятка км. Фактически мы имеем один из самых прочных блоков земной коры в Алтае-Саянской складчатой области. Техногенные сейсмические активизации протекают в осадочных породах Кузнецкой впадины, что также не характерно для природной сейсмичности.

Результаты и выводы:

- Разрезы с наиболее сильными по магнитуде промышленными взрывами не являются разрезами с наиболее сильной наведённой сейсмичностью.
- Отмечается рост магнитуды взрывов с увеличением общей массы заряда, хотя при короткозамедленном взрывании магнитуда

должна зависеть от заряда ступени и не зависеть от общего заряда. Обнаруживаются факты взрывов в одном и том же разрезе с меньшим общим зарядом, но с большей магнитудой, чем у взрывов с большим общим зарядом. Фактически сейсмическая сеть станций позволяет контролировать правильность технологии взрывания на разрезах.

- В Кузбассе существует три вида наведённой сейсмичности, существенно отличающейся по своим характеристикам: 1. Наведённая сейсмичность, тесно связанная с работой лав. 2. Блуждающая наведённая сейсмичность в местах, где ранее велась добыча угля подземным способом. 3. Наведённая сейсмичность открытых горных выработок.

- Наведённая сейсмичность, связанная с работой лав, приурочена к забою и смещается во времени вместе с его перемещением. Активизируется область от подошвы выработки до глубины около километра ниже. Основные механизмы очагов — взбросы. Максимальные магнитуды техногенных землетрясений — меньше трёх.

- Блуждающая наведённая сейсмичность фиксировалась дважды. Глубины событий — от одного до пяти км. Максимальные магнитуды — менее трёх.

- Наведённая сейсмичность открытых горных работ связана с активизацией под выработкой или в зоне отвалов. Активизацией охватываются недра от подошвы выработки до глубин 4-5 км. Максимальная магнитуда 6.1, нередко события с магнитудами 3÷4. Механизмы очагов — преимущественно взбросы.

- Сейсмические активизации в районах подземных выработок в существенной степени зависят от вибрационного воздействия работающего оборудования и не реагируют на сейсмическое воздействие промышленных взрывов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В. Триггерная сейсмичность Кузбасса // Материалы III-го Всероссийского семинара-совещания «Триггерные эффекты в геосистемах». 2015. С. 8–28.
2. Брыксин А.А., Селезнёв В.С. Влияние техногенных факторов на сейсмичность районов Кузбасса и озера Байкал // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 3. С. 399–405.
3. Промышленные взрывы и техногенная сейсмичность / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова, Ю.И. Колесников // Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействия на объекты недропользования. Новосибирск: СО РАН, 2008. С. 228–366.
4. Система мониторинга наведённой сейсмичности Кузбасса и триггерные эффекты в развитии сейсмического процесса / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова, Д.Г. Корабельщиков, А.В. Дураченко // Материалы III-го Всероссийского семинара-совещания «Триггерные эффекты в геосистемах». 2015. С. 190–199.
5. Друкованый М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах. М.: Недра, 1973. 402 с.
6. Еманов А.Ф. Корреляционный метод сжатия сигналов для обработки сейсмограмм промышленных взрывов // Геология и геофизика. 1980. № 4. С. 77–86.
7. Еманов А.Ф. Влияние короткозамедленного взрывания на сейсмограммы промышленных взрывов // Геология и геофизика. 1982. № 9. С. 81–89.
8. Зиневич А.Н., Филина А.Г., Еманов А.Ф. Статистический подход к распознаванию промышленных взрывов и землетрясений // Материалы Международной конференции «Методы изучения, строение и мониторинг литосферы». Новосибирск, 1998. С. 205–212.
9. Змушко Т.Ю., Турунтаев С.Б., Куликов В.И. Связь шахтной сейсмичности с режимом горных работ на шахтах г. Воркуты // Динамические процессы в геосферах: сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2011. Вып. 2. С. 75–88.
10. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Семин А.Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. № 1. С. 49–64.
11. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 в Кузбассе — сильнейшее в мире при добыче твёрдых полезных ископаемых // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т. 43. № 4. С. 34–60.
12. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Одновременное воздействие открытых и подземных горных работ на недра и наведённая сейсмичность // Вопросы инженерной сейсмологии. 2017. Т. 44. № 4. С. 51–62.
13. Фатеев А.В., Еманов А.Ф., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В. Эксперименты по обнаружению наведённой сейсмичности на севере Кузбасса // Землетрясения России в 2012 году. Обнинск: ГС РАН, 2012. С. 87–89.
14. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В. Экспериментальные исследования наведённой сейсмичности в Кузбассе // Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. С. 426–459.
15. Пономарев В.С. Энергонасыщенность геологической среды. М.: Наука, 2008. 378 с.
16. Техногенная сейсмичность шахты «Распадская» / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова, В.С. Селезнёв, О.А. Манушина, А.С. Смоглюк, Е.В. Шевкунова // Землетрясения России в 2012 году. Обнинск: ГС РАН, 2012. С. 90–95.
17. Экспериментальные исследования триггерных эффектов в развитии наведённой сейсмичности в Кузбассе / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова, Е.В. Шевкунова, О.А. Манушина, А.А. Демидова, У.Ю. Ворона, А.С. Смоглюк // Землетрясения России в 2009 году. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 87–89.
18. Методические основы технологии эффективного и безопасного освоения глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых открытым способом / А.А. Козырев, В.В. Ры-

бин, Д.В. Жиров, А.Л. Билин, А.Н. Виноградов, Э.В. Каспарьян, Ю.А. Виноградов, И.Э. Семенова, А.М. Жирова // Вестник МГТУ, 2009. Т. 12. № 4. С. 644–653.

19. Пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.Г. Филина, Л.В. Кунгурцев, Е.В. Лескова, Ж.В. Шейкина, М.А. Ярыгина // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия: материалы Международной конференции. Новосибирск, 2003. С. 73–86.

20. Крылов С.В., Егоров Г.В., Дубовик Л.В., Бочанов А.И. Глубинные сейсмические исследования в Кузбассе с применением промышленных взрывов и аппаратуры «Тайга» // Глубинные сейсмические исследования в Западной Сибири. М.: Наука, 1970. С. 114–123.

21. Крылов С.В., Мишенькин Б.П., Крупская Г.В., Петрик Г.В. Глубинные сейсмические исследования в районе Салаирского кряжа // Геология и геофизика, 1971. № 7. С. 79–83.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.7.52.008

UDC 550.834

© **A.F. Emanov, A.A. Emanov, A.V. Fateev, E.V. Shevkunova, U.Yu. Vorona, N.A. Serezhnikov, 2018**

A.F. EMANOV

Doctor of Engineering Sciences

Director

Altay-Sayan branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk

e-mail: emanov@gs.nsc.ru

A.A. EMANOV

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,

Deputy General Director for Science

Altay-Sayan branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk

Senior Researcher

IPGG SB RAS, Novosibirsk

e-mail: alex@gs.nsc.ru

A.V. FATEEV

Senior Researcher

Altay-Sayan branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk

Leading Engineer

IPGG SB RAS, Novosibirsk

e-mail: fateev@gs.sbras.ru

E.V. SHEVKUNOVA

Researcher

Altay-Sayan branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk

e-mail: elenash@gs.sbras.ru

U.YU. VORONA

Researcher

Altay-Sayan branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk

e-mail: u.y.vorona@gmail.com

N.A. SEREZHNIKOV,

Research Assistant

Altay-Sayan branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk

e-mail: bestyah21@mail.ru

SEISMIC EFFECT OF INDUSTRIAL EXPLOSIONS AND BASIC REGULARITIES OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF SEISMICITY NEAR MINES AND COAL QUARRIES OF KUZBASS

According to the network of seismological stations, the seismic effect of short-delayed blasting on coal quarries of Kuzbass and induced seismicity in the same region were studied. The quarries with the strongest magnitude industrial explosions are not the quarries with the strongest induced seismicity. The nature of the onset of induced seismicity can be associated with technogenic change in the terrain. It is established that the magnitudes and the parameters of the short-delayed blasting have the possibility to control the correctness of the blasting technology. Experiments with time networks of stations have obtained detailed data on the nature and features of the development of induced seismicity near the mines and coal quarries of the Kuzbass.

Key words: INDUCED SEISMICITY, INDUSTRIAL EXPLOSIONS, SEISMIC EFFECT, KUZBASS, SHORT-DELAYED BLASTING.

REFERENCES

1. Adushkin V.V. Trigger seismicity of the Kuznetsk Basin. Trigger effects in geosystems. Materials of the III-rd All-Russia seminar-meeting. 2015. pp. 8–28. (In Russ.).
2. Bryksin A.A., Seleznev V.S. The impact of technogenic factors on the seismicity of the Kuznetsk basin region and lake Baikal. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*. 2012. Vol. 53. № 3. pp. 399–405. (In Russ.).
3. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V., Kolesnikov Yu.I. Industrial explosions and technogenic seismicity. Modern geodynamics of an array of rocks of the upper part of the lithosphere: origins, parameters, impacts on subsoil use objects. Novosibirsk: SB RAS, 2008. pp. 228–366. (In Russ.).
4. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V., Korabelshikov D.G., Durachenko A.V. Monitoring system of the induced seismicity of Kuzbass and trigger effects in the development of the seismic process. Trigger effects in geosystems. Materials of the III-rd All-Russia seminar-meeting. 2015. pp. 190–199. (In Russ.).
5. Drukovany M.F. Methods for controlling the explosion in quarries. Moscow: Nedra, 1973. 402 p. (In Russ.).
6. Emanov A.F. Correlation method of signal compression for processing of seismograms of industrial explosions. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*. 1980. № 4. pp. 77–86. (In Russ.).
7. Emanov A.F. Influence of short-delayed blasting on seismograms of industrial explosions. *Geologiya i geofizika = Geology and geophysics*. 1982. № 9. pp. 81–89. (In Russ.).
8. Zinevich A.N., Filina A.G., Emanov A.F. The statistical approach of the industrial explosions and earthquakes recognition. Methods of studying, structure and monitoring of the lithosphere. Proceedings of the conference, Novosibirsk September 6–13. 1998. pp. 05–212. (In Russ.).
9. Zmushko T.Yu., Turuntayev S.B., Kulikov V.I. Connection of mine seismicity with the regime of mining operations in the Vorkuta mines. Dynamic processes in the geospheres: a collection of scientific papers of the Institute of Space Physics of the Russian Academy of Sciences. Moscow: GEOS, 2011. Iss. 2. pp. 75–88. (In Russ.).
10. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V., Semin A.Yu. Seismic activation at coil mining in Kuzbass. *Fizicheskaya = Physical mesomechanics*. 2009. Vol. 12. № 1. pp. 49–64. (In Russ.).

11. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V. The technogenic $M_L = 6.1$ Bachatsky earthquake of 18 June 2013 in Kuzbass: the world strongest event during mining operations. *Voprosy inzhenernoy seysmologii = Questions of engineering seismology*. 2016. Vol. 43. No. 4. pp. 34–60. (In Russ.).

12. Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Leskova E.V. Simultaneous impact of opencast and underground coal mining on the Earth's crust and induced seismicity. *Voprosy inzhenernoy seysmologii = Questions of engineering seismology*. 2017. Vol. 44. № 4. pp. 51–62. (In Russ.).

13. Fateev A.V., Emanov A.F., Podkorytova V.G., Leskova E.V. Experiments on detection of induced seismicity in the north of Kuzbass. *Zemletryaseniya Rossii v 2012 godu = Earthquakes in Russia in 2012*. Obninsk: GS RAN, 2012. pp. 87–89.

14. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V. Experimental studies of induced seismicity in the Kuzbass. Destruction of the Earth's crust and self-organization processes in the areas of strong man-caused impact. *Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2012*. pp. 426–459. (In Russ.).

15. Ponomarev V.S. Power saturation of the geological environment. Moscow: Nauka, 2008. 378 p. (In Russ.).

16. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V., Seleznev V.S., Manushina O.A., Smoglyuk A.S., Shevkunova E.V. Technogenic seismicity of the Rapsadskaya mine. *Zemletryaseniya Rossii v 2012 godu = Earthquakes in Russia in 2012*. Obninsk: GS RAN, 2012. pp. 90–95. (In Russ.).

17. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V., Shevkunova E.V., Manushina O.A., Demidova A.A., Vorona U.Yu., Smoglyuk A.S. Experimental investigations of trigger effects in the development of induced seismicity in the kuzbass. *Zemletryaseniya Rossii v 2012 godu = Russian Earthquakes in 2009*. Obninsk: GS RAN, 2011. pp. 87–89. (In Russ.).

18. Kozyrev A.A., Rybin V.V., Zhiron D.V., Bilin A.L., Vinogradov A.N., Kasparian E.V., Vinogradov Yu.A., Semenova I.E., Zhironova A.M. Methodical fundamentals of effective and safe technology for open pit mining or deep levels or deposits. *Vestnik MGTU = Vestnik of MSTU, 2009*. Vol. 12. № 4. pp. 644–653. (In Russ.).

19. Emanov A.F., Emanov A.A., Filina A.G., Kungurtsev L.V., Leskova E.V., Sheikina Zh.V., Yarygina M.A. Spatial-temporal analysis of the seismicity of the Altai-Sayan folded. *Problems of seismology of the third millennium. Materials of the international conference*. Novosibirsk, 2003. pp. 73–86. (In Russ.).

20. Krylov S.V., Egorov G.V., Dubovik L.V., Bochanov A.I. Deep seismic studies in the Kuzbass with the use of industrial explosions and apparatus «Taiga». *Deep seismic studies in Western Siberia*. Moscow: Nauka, 1970. pp. 114–123. (In Russ.).

21. Krylov S.V., Mishenkin B.P., Krupskaya G.V., Petrik G.V. Deep seismic studies in the area of the Salair Range. *Geologia i geofizika = Geology and Geophysics, 1971*. № 7. pp. 79–83. (In Russ.).